Bestimmung der Zahl der von Radium B und C ausgesandten Gammastrahlquanten.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
einer Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt
von

Gerhard Reiff
aus Reutlingen

1932

Gatzer & Hahn, Graphische Werkstätten, Schramberg (Württemberg)

Dekan: Professor Dr. F. Machatschki
Referent: Professor Dr. H. Geiger

Tag der mündlichen Prüfung: 12. Mai 1932

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhalt.

		Seite
§ 1.	Einleitung und Problemstellung.	1
§ 2.	Versuchsanordnung.	3
§ 3.	Das Zählrohr.	4
§ 4.	Abhängigkeit der Ausschlagszahl des Zählrohrs von der anliegenden Spannung.	5
§ 5.	Proportionalität der Ausschlagszahl mit der Präparatstärke.	6
§ 6.	Ausblendung des Strahlenbündels.	7
§ 7.	Einfluß von Sekundärstrahlung auf die Zählungen.	8
§ 8.	Abhängigkeit der Ausschlagszahl von der Länge des Zählrohres.	12
§ 9.	Versuche über das Auftreten sehr langsamer Comptonelektronen.	13
§ 10.	Absolutzählung der Sekundärelektronen.	15
§ 11.	Berechnung der Zahl der emittierten Quanten aus der der ausgelösten Sekundärelektronen.	16
§ 12.	Diskussion des Resultates.	20
§ 13.	Zusammenfassung.	21

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550010_0006

§ 1.

Einleitung und Problemstellung.

Die Gammastrahlung, die das Radium aussendet, wenn es im Gleichgewicht mit seinen Folgeelementen steht, rührt praktisch nur von Radium B und C her. Neben Radium B und C sind zwar auch Radium selbst und Radium D, E, F Gammastrahler, doch beträgt die Gammastrahlung von Radium, Radium E und F zusammen noch nicht ein Prozent der Strahlung von Radium B + C. Die Strahlung von Radium D ist etwas intensiver, jedoch so weich, daß sie normalerweise schon von der Hülle des Präparates vollkommen verschluckt wird.

Zählversuche an den Gammastrahlen von Radium B und C wurden erstmalig von Heß und Lawson[1]) im Jahre 1916 angestellt. Verwendet wurde dabei eine Zählapparatur, die in der Wirkungsweise einem Spitzenzähler entspricht. Der Zähler von Heß und Lawson bestand nämlich aus einem halbkugelförmigen Gehäuse, in dem an einem isoliert durchgeführten Draht eine kleine Stahlkugel saß. Es wurde die Zahl der von der Gammastrahlung in der Wandung des Zählers ausgelösten Sekundärelektronen bestimmt und hieraus auf die Zahl der von 1 Gramm Radium in 1 sec emittierten Quanten geschlossen. Heß und Lawson fanden hierfür $2{,}92 \cdot 10^{10}$. Diese Zahl ist aber, wie die Verfasser selbst bemerken, nur ein unterer Grenzwert.

Spätere Untersuchungen haben ergeben, daß ein Gamma-Quant auf zwei Arten mit den Atomen eines Absorbers in Wechselwirkung treten kann: durch den Photoeffekt und durch den Comptoneffekt. Beim Photoeffekt wird das Quant als solches vernichtet, und seine ganze Energie geht auf das Sekundärelektron über. Beim Comptoneffekt dagegen wird das Quant nur um einen mehr oder weniger großen Winkel aus der Primärrichtung herausgestreut, und das Sekundärelektron übernimmt nur einen Teil der Energie des Quantums. Mit zunehmender Härte der Strahlung und abnehmender Ordnungszahl des Absorbers tritt die Photoabsorption gegenüber der Comptonstreuung in den Hintergrund. In Luft z. B. lösen die Quanten der Radiumgammastrahlung praktisch nur Comptonelektronen aus.

[1]) V. F. Heß, R. W. Lawson, Wien. Ber. **125**, 285, 585, 1916.

Die Versuche von Heß und Lawson wurden acht Jahre später von Kovarik[1]) wiederholt und erweitert. Seine Methode ist prinzipiell dieselbe wie die von Heß und Lawson. Die Zahl der Gammaquanten wird hier aus der Anzahl der von ihnen in verschiedenen Materialien (Al, Cu, Sn, Pt, Pb) ausgelösten Sekundärelektronen bestimmt. Die Sekundärstrahler bilden die Vorderwand eines Geigerschen Spitzenzählers, dessen Ausschläge registriert werden. Besondere Versuche wurden durchgeführt, um die Anzahl der in den Seitenwänden des Zählers freiwerdenden Sekundärelektronen zu bestimmen und zu eliminieren. Dasselbe gilt für die Sekundärelektronen, welche durch Streuung an den Gegenständen der Umgebung entstanden. Kovarik fand für die Zahl der von 1 Gramm Radium in 1 sec ausgehenden Gammaquanten den Wert $7{,}28 \cdot 10^{10}$. Davon der Menge Radium B und C, die mit 1 Gramm Radium im Gleichgewicht steht, in einer Sekunde $7{,}4 \cdot 10^{10}$ Atome zerfallen, ergibt sich als bemerkenswerte Tatsache, daß pro zerfallendes Atom gerade ein Gammastrahlquant emittiert wird.

Da es für viele Fragen der Kernstruktur von Wichtigkeit ist, das Verhältnis der Zahl der emittierten Quanten zu der der zerfallenden Atome genau zu kennen, wurde im folgenden der Versuch gemacht, mit dem Elektronenzählrohr unter möglichst gut definierten Bedingungen die Zahl der von Radium ausgehenden Gammastrahlquanten zu bestimmen. Diese wurde errechnet aus der Anzahl der Sekundärelektronen, welche ein Gammastrahlbüschel in der Luftfüllung des Zählrohrs auslöste. Bei der Berechnung der das Zählrohr durchsetzenden Gammaquanten aus den von ihnen ausgelösten Sekundärelektronen, wobei der Absorptionskoeffizient der untersuchten Strahlung in Luft eingeht, wurde besonderes Augenmerk darauf gerichtet, daß der Absorptionskoeffizient einen ziemlich starken Gang mit der Wellenlänge zeigt und die Gammastrahlung von Radium B und C ein sehr heterogenes Strahlengemisch darstellt.

---

[1]) A. F. Kovarik, Phys. Rev. **23**, 559, 1924.

§ 2.

Versuchsanordnung.

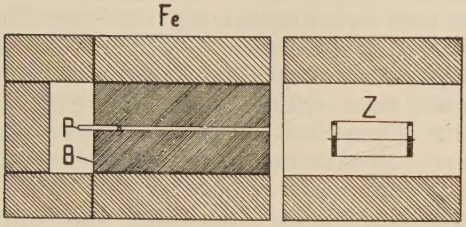

Abb. 1. Schematische Darstellung der Versuchsanordnung.

Das Präparat P (Abb. 1), bei den endgültigen Messungen ein von der Physikalisch-Technischen-Reichsanstalt geeichter Radiumstandard von 1,018 mg Gehalt, war zum Schutz gegen mechanische Beschädigungen in eine Messinghülse von 1 mm Wandstärke und 6 mm äußerem Durchmesser eingeschlossen. Es befand sich am Ende eines zylindrischen Kanals von 4 mm Durchmesser, der in einen Bleiblock B von $20 \cdot 10 \cdot 10$ cm³ eingebohrt war. Dicht vor dem Präparat waren noch 3,4 mm Blei zur Absorption der härtesten primären Betastrahlung eingeschoben. Die Entfernung vom Schwerpunkt der radioaktiven Substanz bis zur Panzermündung betrug 181 mm. Der Bleipanzer war auf allen Seiten von einer im Mittel 5 cm dicken Eisenschicht Fe umgeben, um die diffuse Strahlung des Präparates vom Zählrohr möglichst fernzuhalten. Ein genau gezogener Bleidraht gestattete, den Kanal vollständig auszufüllen, so daß jederzeit festgestellt werden konnte, wieviele Ausschläge des Zählrohres von dieser diffusen Strahlung herrühren. Vor dem Panzer befand sich das Zählrohr Z, auf das in § 3 näher eingegangen wird. Die Entfernung seiner Stirnfläche von der des Panzers betrug im allgemeinen 5 cm. Der Zähler war durch allseitigen Eisenschutz, der nur in der Strahlrichtung offen war, nach Möglichkeit vor kosmischer Ultrastrahlung geschützt. Es gelang auf diese Weise leicht, den Resteffekt, bestehend aus der Streustrahlung des Präparats, der kosmischen Strahlung usw., auf ungefähr die Hälfte der bei ungeschütztem Zählrohr und entferntem Präparat auftretenden Auschlagzahl herabzudrücken.

§ 3.

Das Zählrohr.

Das Zählrohr war mit Luft von Atmosphärendruck gefüllt und erforderte eine Arbeitsspannung von ungefähr 3500 Volt. Der Zählbereich, d. h. der Bereich, in dem Unabhängigkeit der Ausschlagzahl von der anliegenden Zählspannung herrschte, erstreckte sich über etwa ± 30 Volt. Der Durchmesser der Zählrohre betrug im allgemeinen 40 mm, während sich die Länge auf 40, 80 oder 120 mm belief. Der Durchmesser des Zähldrahtes war 0,05 mm.

Die Verwendung eines Zählrohres mit Luftfüllung von Atmosphärendruck brachte zwar wegen der hohen zum Betrieb erforderliche Spannung gewisse Schwierigkeiten mit sich. Dafür war aber einmal die Möglichkeit gegeben, die Fenster, durch die die zu messende Strahlung in das Zählrohr eintritt, bzw. dieses verläßt, äußerst dünn zu halten. Die Sekundäremission der Fenster ist dann so klein, daß sie vernachlässigt werden kann. Der relativ hohe Druck im Zählrohr bot noch den weiteren Vorteil, daß die Absorption der zu messenden Strahlung im Zählrohr wesentlich höher war als bei dem üblichen Druck. Bei einem Druck von ungefähr 60 mm Hg, unter dem sonst die Luftfüllung im Zählrohr steht, wäre nämlich von der hindurchgehenden Gammastrahlung nur ein so geringer Bruchteil absorbiert worden, daß eine sichere Messung ausgeschlossen gewesen wäre. So aber gelang es, die Absorption wenigstens auf ein Promille zu steigern.

Mit einem solchen Zählrohr gelang es, vollkommen einwandfrei zu zählen, im Gegensatz zu Curtiss[1]), der die Möglichkeit, bei Atmosphärendruck zu arbeiten, verneint. Um ein sauberes Zählen zu ermöglichen, mußte vor allem das Füllgas sehr gut getrocknet sein. Andernfalls traten starke Störungen auf, die sich vor allem darin äußerten, daß die Ausschläge nicht mehr abrissen. Die zu den endgültigen Messungen verwendeten Zählrohre besaßen deshalb alle einen mit Phosphorpentoxyd beschickten Trockenansatz. Um eine Ionisation durch das Trockenmittel zu vermeiden, war dieses mit einer Schicht Glaswolle bedeckt.

In den beiden Hartgummistopfen, die die Stirnflächen des Rohres verschlossen, waren zwei einander genau gegenüber liegende Bohrungen von 15 mm Durchmesser angebracht. Durch

[1]) L. F. Curtiss, Bur. of Stand. Journ. of Res. 4, 601, 1930.

diese ging das aus dem Panzer tretende Gammastrahlenbüschel und durchsetzte so das Zählrohr, ohne einen festen Teil zu berühren. Beide Fenster waren durch je eine Zelluloidfolie von etwa 150 mμ Dicke abgeschlossen, um Luftströmungen im Zähler und das Einwandern von Ionen zu verhindern. Der Zähldraht befand sich in der Achse des Rohres. Es war ein Stahldraht von 0,05 mm Dicke, der durch vorsichtiges elektrisches Erhitzen mit einer ganz dünnen Oxydhaut umgeben worden war. Für die Behandlung des Drahtes hatten die Vorversuche ergeben, daß die vom Ziehen des Drahtes herrührende Oberfläche nicht durch Schmirgeln zerstört werden darf. Der Draht darf vielmehr vor dem Oxydieren nur mit einer fettlösenden Flüssigkeit abgewaschen werden.

Die Zählspannung wurde von einem Hochspannungsgleichrichter geliefert. Sie konnte in dem benützten Gebiet auf ± 5 Volt genau einreguliert werden.

Die Ausschläge betätigten nach Verstärkung durch einen Dreiröhrenverstärker ein Relais, das seinerseits ein elektromagnetisches Addierwerk steuerte. Parallel zum Verstärker lag ein Kohlhörstersches Schlingenelektrometer[1]). Mit Hilfe dieses Elektrometers konnte unter anderem die Konstanz der Zählspannung geprüft werden, da eine etwa eintretende Spannungsänderung sich an der Ausschlagsweite sehr stark bemerkbar machte: beispielsweise änderte sich die Größe der Ausschläge von 2 auf 60 mm, wenn die Spannung von 3560 auf 3600 Volt stieg.

§ 4.

Abhängigkeit der Ausschlagszahl des Zählrohres von der anliegenden Spannung.

Das Zählrohr, welches, wie in § 3 erwähnt, mit Luft von Atmosphärendruck gefüllt war, wurde sorgfältig auf zuverlässiges Arbeiten geprüft. Besonderes Augenmerk wurde der Abhängigkeit der Ausschlagszahl von der Spannung zugewendet. Wie Tab. 1 zeigt, ist die Ausschlagszahl in einem Bereich von ungefähr 60 Volt von der Spannung vollkommen unabhängig, so daß die beim Betrieb mit dem Hochspannungsgleichrichter maximal auftretenden Spannungsschwankungen von ± 10 Volt die Meßergebnisse nicht beeinflussen können.

---

[1]) W. Kolhörster, Phys. ZS. **26**, 654, 1925.

Tabelle 1.

Unabhängigkeit der Ausschlagszahl von der Zählspannung.

Spannung Volt	3530	3550	3570	3590
Ausschlagszahl pro min.	89,3	89,9	88,6	90,2
gezählte Ausschlagszahl	4465	4495	4430	4510

Die Tatsache, daß innerhalb eines erheblichen Bereiches die Ausschlagszahl unabhängig ist von der Spannung, macht es außerordentlich wahrscheinlich, daß das Zählrohr auch wirklich alle auftretenden Elektronen zählt. Bothe und Kolhörster[1]) und nach ihnen Heidecke[2]) haben bei Messungen an kosmischer Ultrastrahlung das quantitative Arbeiten durch Koinzidenzmessungen in überzeugender Weise nachgewiesen. Bei dem hier besprochenen Zählrohr liegen die Arbeitsbedingungen insofern sogar besonders günstig, als bei dem relativ hohen Druck die von einem Elektron in dem Füllgas erzeugte Ionisation wesentlich größer ist wie bei der sonst üblichen Verwendung der Zählrohre mit Gasfüllung von stark reduziertem Druck.

§ 5.

Proportionalität der Ausschlagszahl mit der Präparatstärke.

Die Proportionalität der Ausschlagszahl mit der Präparatstärke wurde durch Vergleich der durch drei verschieden starke Standardpräparate hervorgerufenen Ausschlagszahlen nachgewiesen. Die Präparate waren von der Physikalisch-Technischen-Reichsanstalt geeicht und enthielten 0,136; 0,0518 und 0,0324 mg Radium. Ihre Stärken verhielten sich also wie 2,63:1:0,625. Aus den Ausschlagszahlen wurde gefunden: 2,71 : 1 : 0,614. Das erste angegebene Verhältnis ist mit einem mittleren statistischen Fehler 4,3%, das zweite mit einem solchen von 3,3% behaftet. Insgesamt wurden für den Vergleich der Präparatstärken etwa

[1]) W. Bothe und W. Kolhörster, ZS. f. Phys. 56, 751, 1929.
[2]) W. Heidecke, Tübinger Dissertation 1931.

63 000 Ausschläge gezählt. Man erkennt, daß innerhalb der Fehlergrenzen Proportionalität zwischen Präparatstärke und Ausschlagszahl vorhanden ist. Versuche dieser Art zeigten weiter, daß bis zu Ausschlagszahlen von 140 pro Minute eine Korrektion wegen unzureichenden Auflösungsvermögens der Registrieranordnung noch nicht angebracht zu werden braucht.

§ 6.

Ausblendung des Strahlenbündels.

Die Justierung des Zählrohrs in Bezug auf das aus dem Panzer tretende Gammastrahlenbüschel erfolgte in der Weise, daß zunächst an Stelle des Präparates eine Lichtquelle gebracht wurde. Das Zählrohr wurde dann solange verschoben, bis das aus dem Panzer tretende Lichtbüschel genau zentrisch durch die Fenster des Zählrohres ging. War diese Bedingung erfüllt, so hatte, wie durch Versuche mit Gammastrahlen festgestellt wurde, eine kleine Verschiebung sowohl senkrecht als auch parallel zur Kanalachse keinen Einfluß auf die auftretende Ausschlagszahl. Traf der ausgeblendete Strahl dagegen auf die metallenen Fensterfassungen, so stieg verständlicherweise die Ausschlagszahl auf das mehrfache an.

Auch bei richtiger Justierung muß jedoch berücksichtigt werden, daß der tatsächlich ausgeblendete Raumwinkel etwas größer ist als der geometrisch definierte. Diese Erscheinung erklärt sich daraus, daß die Mündung des Panzers für Gammastrahlen keine scharfe Blende ist wie für Lichtstrahlen. Man sieht dies sofort ein, wenn man diejenigen Strahlen betrachtet, die mit der Kanalachse einen nur wenig größeren Winkel bilden, als die Kanalmündung zuläßt. Diese werden einen verhältnismäßig kurzen Weg im Blei zurückzulegen haben und infolgedessen nur wenig geschwächt werden. Bezeichnet man mit b das Verhältnis der tatsächlich auftretenden Intensität zu der aus der geometrischen Anordnung zu erwartenden, so ist b, wie man durch eine einfache geometrische Betrachtung leicht findet, gegeben durch:

$$b = 1 + \frac{2}{r_0^2} \int_{r_0}^{\infty} x\, e^{\frac{-\mu R(x-r_0)}{x}}\, dx$$

Es bedeutet dabei: x den Abstand des Durchstoßpunktes durch die zählrohrseitige Panzerstirnwand von der Kanalachse bei einem herausgegriffenen Strahl; r_0 den Radius der Panzermündung; R die Entfernung vom Schwerpunkt des radioaktiven Präparats bis zur Panzermündung und μ den Absorptionskoeffizenten der Strahlung im Material des Panzers. Um die Korrektion bis auf etwa ein Promille voll zu erhalten, braucht x vom Werte $r_0 = 0{,}2$ cm nur bis zum Werte 0,4 cm zu wachsen. Die angegebene Korrektion (Blendenkorrektion), die besonders bei den härteren Komponenten der Radiumgammastrahlung ins Gewicht fällt, wird bei der Berechnung des Resultats (§ 11) berücksichtigt werden.

§ 7.

Einfluß von Sekundärstrahlung auf die Zählungen.

a) Sekundäre Betastrahlung aus den Kanalwänden. Die Wahrscheinlichkeit, daß ein Gammastrahlquant, das das Zählrohr durchfliegt, gezählt wird, ist sehr gering (ungefähr 10^{-3}). Dagegen wird ein aus dem Präparat oder dem Kanal kommender Betastrahl sicher gezählt werden, da ein solcher pro Zentimeter Weg ungefähr 40 Ionenpaare erzeugt. Die Anwesenheit solcher Betastrahlen kann also die Resultate empfindlich fälschen. Um hierüber Klarheit zu gewinnen, wurde das aus dem Panzer tretende Strahlenbüschel, bevor es in den Zähler gelangte, der Einwirkung eines Magnetfeldes unterworfen. Eine Aenderung der auftretenden Ausschlagszahl konnte aber bis zu Feldern von 3000 Gauß nicht beobachtet werden. Bei solchen Feldern würden auch die härtesten Betastrahlen ($H \cdot \rho = 11\,000$ Gauß. cm) mit Sicherheit vom Zähler abgelenkt. Andererseits wurde eine Verringerung der Ausschlagszahl beim Einschalten des Magnetfeldes beobachtet, wenn primäre Betastrahlen durch Herausnahme des Absorbers aus dem Panzer zugelassen wurden. Es ergibt sich also aus diesen Versuchen, daß aus dem Kanal des Panzers Sekundärelektronen nicht in merklicher Anzahl ins Freie treten. Dasselbe Ergebnis erhielten Meitner und Hupfeld[1]) unter ähnlichen experimentellen Bedingungen.

b) Sekundäre Gammastrahlung aus den Kanalwänden. Es besteht weiter die Möglichkeit, daß in den

[1]) L. Meitner und H. Hupfeld, ZS. f. Phys. 67, 147, 1931.

Wänden des Kanals, insbesondere in der Nähe des Präparats, eine sekundäre Gammastrahlung entsteht, die zusammen mit der direkten Strahlung in das Zählrohr gelangt und damit die Zahl der vom Präparat ausgehenden Quanten zu hoch erscheinen läßt. Um die Größe einer solchen Streustrahlung festzustellen, wurde nach dem Vorgang von Fünfer[1]) ein Versuch durchgeführt, der im Prinzip durch die Abb. 2 dargestellt ist. (Der Uebersicht halber ist in der Abb. der Kanaldurchmesser, verglichen mit der Länge des Kanals, 5 mal zu groß gezeichnet.)

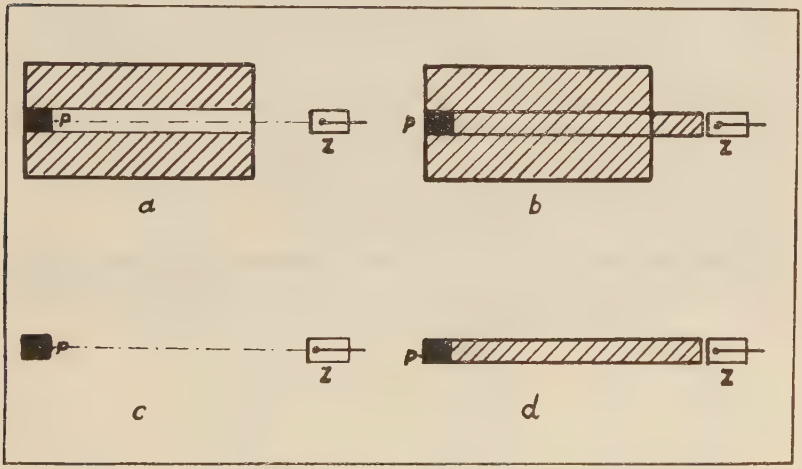

Abb. 2. Versuch zur Bestimmung der Panzerstreustrahlung.

Ein kleiner Spitzenzähler Z von 15 mm Länge und demselben Durchmesser wie der Kanal, nämlich 4 mm, wurde anstelle des Zählrohrs 5 cm vor dem Panzer genau zentrisch in den aus dem Panzer tretenden Strahl gebracht, wie es Abb. 2a andeutet. Wie man sofort einsieht, erscheint Z vom Präparat P gesehen unter einem kleineren Raumwinkel als die Panzermündung. Nehmen wir den Panzer weg, so wird also derselbe Betrag der Primärstrahlung den Zähler treffen wie bisher. Eine Strahlung dagegen, die dem Panzer zuzuschreiben ist, wird jetzt verschwunden sein. Im Prinzip kann also durch Differenzbildung aus den Ausschlagszahlen der Anordnung a und c die Panzerstreustrahlung bestimmt werden. Bei der praktischen

[1]) E. Fünfer, Tübinger Dissertation 1932.

Durchführung des Versuches ergab sich allerdings noch die Schwierigkeit, daß die Strahlung, welche durch Streuung an den Gegenständen der Umgebung auf indirektem Weg in den Zähler gelangt, in beiden Fällen verschieden stark ist. Deshalb wurden von der Ausschlagszahl, die bei Gegenwart des Panzers (Abb. 2a) auftrat, die Ausschläge abgezogen, die sich ergaben, wenn der Kanal des Panzers durch einen Bleistab verschlossen war (Abb. 2b). Dadurch wurde der Nulleffekt des Zählers einschließlich der Streuung an der Umgebung eliminiert. Analog wurde bei der Messung ohne Panzer der Resteffekt dadurch bestimmt, daß zwischen Präparat und Spitzenzähler ein Bleistab vom Durchmesser des Spitzenzählers gebracht wurde, der die direkte Strahlung abschirmte (Abb. 2d). Bezeichnet man die den einzelnen Anordnungen entsprechenden Ausschlagszahlen mit denselben Buchstaben wie die Anordnungen selbst in Abb. 2, so ergeben sich die in Tabelle 2 zusammengestellten Werte:

Tabelle 2.

Bestimmung der sekundären Gammastrahlung aus dem Kanal.

Anordnung	Ausschlags-zahl pro min	Gesamtzahl	statist. Fehler
a	4,172	1460	
b	0,038	13	
c	5,064	1772	
d	0,854	299	
a − b	4,134	1473	2,6%
c − d	4,210	2071	3,1%

Das Ergebnis dieser Versuche geht dahin, daß eine die Messung störende Sekundärstrahlung aus dem Kanal nicht beobachtet werden kann.

c) Sekundärelektronenemission der Zählrohrfenster. Durch weitere Versuche wurde festgestellt, daß die das Zählrohr abschließenden Zelluloidfolien die auftretende Ausschlagszahl nicht in merkbarer Weise vergrößern. Sie sind, wie schon erwähnt, ungefähr 0,15 μ dick. Dies entspricht der Masse nach einer Luftschicht von 0,16 mm bei Atmosphärendruck. Bei einem Versuch wurden die Folien durch Filme von 150 μ Dicke ersetzt. Dabei trat eine Vermehrung der Aus-

schläge um 7 in der Minute ein. Dies entspricht je nach der Drahtlänge 8 bis 25% der im Zähler ausgelösten Ausschläge. Für die ungefähr 1000 mal dünneren Folien, die normalerweise verwendet wurden, kann also die zusätzliche Ausschlagzahl vernachlässigt werden.

d) Sekundärelektronen aus der Luft in der Nähe des Zählrohrs. In Absatz a) wurde gezeigt, daß die Zählungen durch Sekundärelektronen aus den Kanalwänden nicht beeinflußt werden. Elektronen, die in der Luft in der Nähe des Zählers ausgelöst werden, könnten aber sehr wohl in diesen eintreten und Ausschläge verursachen. Für eine Bestimmung der Anzahl solcher Sekundärelektronen wurde in der Weise vorgegangen, daß eine Zelluloidfolie von 170 μ Dicke (18,5 cm Luftäquivalent) dicht vor das Eintrittsfenster in das ausgeblendete Strahlenbüschel gebracht und die dadurch entstehende Erhöhung der Ausschlagszahl bestimmt wurde. Dann wurde die Folie im Strahlengang parallel zu sich selbst eine bestimmte Strecke verschoben und wieder die auftretende Erhöhung der Ausschlagszahl ermittelt. Durch mehrere derartige Messungen konnte eine Kurve (Abb. 3) aufgenommen werden,

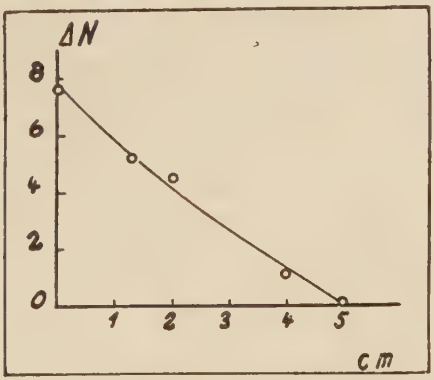

Abb. 3. Erhöhung der Ausschlagzahl eines Zählrohres durch eine vorgeschaltete Folie in Abhängigkeit von ihrem Abstand.

welche die zusätzliche Sekundärelektronenemission Δ N als Funktion des Abstandes der Folie vom Zählrohr darstellt. Mit Hilfte des bekannten Luftäquivalentes der Folie läßt sich nun durch graphische Integration der Kurve abschätzen, wie hoch die Korrektion für die außerhalb des Zählers in Luft entstehen-

den Elektronen ist. Man findet, daß das Resultat durch diese Korrektion um nicht mehr als etwa 1% beeinflußt wird. (Gezählte Ausschlagszahl: 100 000).

e) Sekundärstrahlung der von den Gammastrahlen getroffenen Zimmerwand. Bei der Bestimmung des Resteffektes wird der Kanal verschlossen, also die Streustrahlung der von dem direkten Strahl getroffenen Zimmerwand nicht mitgemessen. Um die Größe dieser Streustrahlung abzuschätzen, wurde ein Eisenklotz von 10 cm Dicke hinter dem Zählrohr in das Strahlenbüschel gebracht, das das Zählrohr durchsetzt hatte. Bei 8 cm Entfernung vom Zählrohr vermehrte dieser Eisenklotz die Ausschlagszahl um 10%, während bei 50 cm Entfernung keine Erhöhung der Ausschlagszahl mehr festzustellen war. Die Sekundärstrahlung der 2,5 Meter entfernten Zimmerwand kann also sicher vernachlässigt werden.

§ 8.

Abhängigkeit der Ausschlagszahl von der Länge des Zählrohres.

Wurde unter sonst gleichen Bedingungen die Ausschlagszahl der drei verwendeten Zählrohre in Abhängigkeit von ihrer Länge bestimmt, so ergab sich eine lineare Beziehung, wie sie Abb. 4 zeigt. Als Abszisse ist die Rohrlänge in Zentimetern aufgetragen, als Ordinate die Ausschlagszahl pro Minute. Für jede

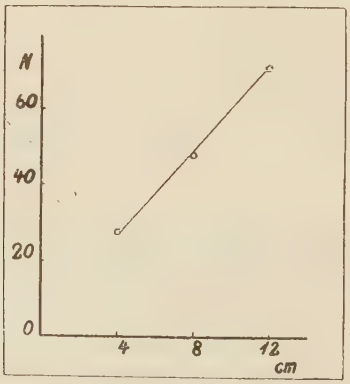

Abb. 4. Abhängigkeit der Ausschlagszahl der Zählrohre von ihrer Länge.

Rohrlänge wurden unter sonst gleichen Bedingungen 10 000 Ausschläge gezählt.

Bei dem kürzesten Zählrohr (4 cm), bei dem die Länge nicht größer war als der Durchmesser, konnte, offenbar infolge der starken Verzerrung des Feldes, die Reproduzierbarkeit der Messungen nicht voll befriedigen. Die Absolutzählungen wurden deshalb mit Zählrohren von 8 und 12 cm freier Drahtlänge durchgeführt. Auf die Verwendung noch längerer Zählrohre mußte verzichtet werden, weil sonst der Resteffekt unverhältnismäßig groß geworden wäre.

§ 9.

Versuche über das Auftreten sehr langsamer Comptonelektronen.

Die Berechnung der Anzahl der durch einen Absorber gehenden Quanten aus der Zahl der von ihnen darin ausgelösten Sekundärelektronen beruht unter anderem auch auf der Voraussetzung, daß jedes Quant, das einen Comptonprozeß erfährt, aus dem Primärbüschel herausgestreut wird. Werden aber sehr langsame Comptonelektronen in relativ großer Zahl erzeugt, so wird nach dem Impulserhaltungssatz, der zur Beschreibung des Comptoneffektes herangezogen werden kann, ein großer Teil der Quanten praktisch im primären Quantenstrom verbleiben. Trotzdem aber werden im Zählrohr Ausschläge auftreten. Die Zahl der Quanten wird also zu hoch gefunden werden.

Um über die Häufigkeit des Auftretens solcher besonders langsamer Comptonelektronen etwas aussagen zu können, wurde folgender Versuch ausgeführt (Abb. 5): In einem Messingrohr

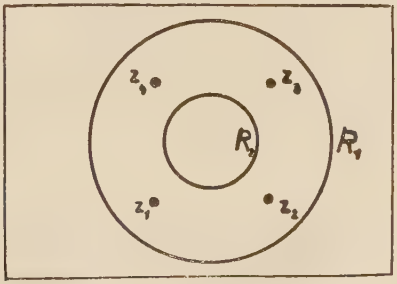

Abb. 5. Vierdrahtzählrohr.

R_1 von 50 mm innerem Durchmesser befindet sich konzentrisch ein Papierzylinder R_2 von 15 mm Durchmesser und 0,1 mm Wandstärke. R_2 ist durch einen Ueberzug von Tusche leitend gemacht und leitend mit R_1 verbunden. Den inneren Zylinder umgeben in gleichen Abständen 4 Zähldrähte Z_1 bis Z_4. Es wurde festgestellt, daß alle Drähte über einen genügend großen Spannungsbereich gemeinsam zählten. Mit einem solchen Rohr konnte vollkommen einwandfrei gezählt werden [1]). Die auftretenden raschen Comptonelektronen werden in ihrer überwiegenden Mehrheit die Wand des Papierzylinders durchdringen und können einen Ausschlag hervorrufen. Anders ist es mit den entstehenden langsamen Elektronen. Diese werden, wenn sie eine bestimmte Geschwindigkeit (etwa 40 Kilovolt) unterschreiten, nicht mehr durch das Papier hindurchkommen und infolgedessen auch keine Ausschläge mehr erzeugen können. Leider war es nicht möglich, mit dem Vierdrahtzählrohr ohne den inneren Zylinder R_2 zu arbeiten, weil dann in der Nähe der Rohrachse der Raum fast feldfrei war. Es wurde deshalb die Ausschlagszahl eines normalen Zählrohres von gleicher Länge und gleichem Durchmesser zum Vergleich herangezogen. So ergab sich, daß $65 \pm 4\%$ der im Innern des Papierrohres entstehenden Sekundärelektronen imstande sind, in den Außenraum überzutreten. Dabei ist nun zu berücksichtigen, daß die Elektronen, deren Bahn nur einen kleinen Winkel mit der Rohrachse bildet, infolge der Geometrie der Anordnung nicht aus dem Papierzylinder austreten und infolgedessen auch nicht gezählt werden können. Der Bruchteil, der Sekundärelektronen, der aus diesem Grunde nicht zur Zählung gelangt, kann mit Hilfe der von Fränz [2]) über die Richtungsverteilung der sekundären Betastrahlen angegebenen Zahlen errechnet werden. Man findet, daß bei den vorliegenden Verhältnissen die Bahnen von etwa 40% der auftretenden Sekundärelektronen ganz innerhalb des Papierzylinders verlaufen müssen, so daß man nach Einschaltung des Papierzylinders 60% der ohne diesen auftretenden Ausschläge erwarten darf. Der beschriebene Versuch spricht also stark dafür, daß sehr langsame Comptonelektronen relativ selten auftreten.

---

[1]) Zählrohre mit mehreren Drähten wurden zuerst angegeben von H. Geiger und W. Müller: Phys. ZS. **30**, 489, 1929.

[2]) H. Fränz, ZS. f. Phys. **39**, 92, 1926.

§ 10.

Absolutzählung der Sekundärelektronen.

Tabelle 3.

Zusammenstellung der Zählungen von in Luft ausgelösten Sekundärelektronen.

1	2	3	4
Zählreihe	Ausschläge pro min	Ausschl. pro min, reduziert auf NDT	Gesamtzahl der beob. Ausschläge
8 cm langes Rohr			
1	51,5	57,5	7265
2	49,5	56,2	7635
3	49,5	55,7	7410
5	51,0	56,7	7244
9	50,0	56,0	7944
12	50,8	57,2	7590
14	51,0	57,2	8660
16	50,9	56,7	7555
		Mittel 56,6	Summe 61303
12 cm langes Rohr			
4	75,4	84,0	11410
6	75,2	84,0	10980
7	75,9	83,7	10840
8	76,0	83,7	10940
10	75,9	84,5	10855
11	75,3	84,0	10905
13	76,2	85,5	10740
15	77,0	86,5	11160
		Mittel 84,5	Summe 87830

Tabelle 3 enthält die Ergebnisse der Meßreihen, die mit dem Radiumpräparat von 1,018 mg durchgeführt wurden. Der Durchmesser der Panzermündung betrug hierbei 0,4 cm, die Entfernung vom Präparat zur Panzermündung war 18,1 cm. Die in Spalte 2 angegebenen Ausschlagszahlen, bei denen bereits

der Resteffekt (im Mittel für das 12 cm lange Rohr 72, für das 8 cm lange Rohr 51,5 Ausschläge pro Minute) berücksichtigt ist, sind in Spalte 3 auf normalen Druck und Temperatur reduziert. Diese Reduktion war notwendig, weil die Zähler nicht luftdicht verschlossen waren. Die letzte Spalte endlich enthält die während einer Meßreihe (50 min Strahlung und 50 min Resteffekt) insgesamt gezählten Ausschläge. Der Mittelwert der Ausschlagszahlen, gebildet aus sämtlichen Meßreihen, beträgt für das 12 cm lange Zählrohr 84,5, für das von 8 cm Länge 56,6 Ausschläge pro Minute. Reduziert man auf die Längeneinheit, so erhält man in guter Uebereinstimmung 7,04 bzw. 7,08, im Mittel also 7,06 Ausschläge. Rechnet man auf eine Sekunde um, so erhält man 0,117 Sekundärelektronen pro Sekunde und Zentimeter Zählrohrlänge.

§ 11.

Berechnung der Zahl der emittierten Quanten aus der der ausgelösten Sekundärelektronen.

Die Berechnung der Zahl der Gammastrahlquanten aus der Anzahl der von ihnen in einem Medium ausgelösten Sekundärelektronen gründet sich auf folgende Ueberlegung: Der Schwächungskoeffizient μ_ν gibt den Bruchteil der Quanten einer bestimmten Frequenz ν an, der diesen beim Durchlaufen der Längeneinheit eines Absorbers entzogen wird. Wenn also γ_ν Quanten pro Sekunde durch die Absorberlänge l fliegen, so werden sie insgesamt $N_\nu = \gamma_\nu \cdot \mu_\nu \cdot l$ Comptonprozesse erfahren. Der hier für die Berechnung der Absorption angewandte vereinfachte Ansatz ist zulässig, weil die größte Luftstrecke, die bei den Messungen verwendet wurde (12 cm), klein ist gegenüber der Halbwertsdicke für Gammastrahlung (größenordnungsmäßig 10^4 cm). Es werden also auch gerade N_ν Sekundärelektronen auftreten, und man findet so $\gamma_\nu = \frac{N_\nu}{\mu_\nu l}$. Ersetzt man $\frac{N_\nu}{l}$ durch n_ν, so ergibt sich $\gamma_\nu = \frac{n_\nu}{\mu_\nu}$.

Besondere Beachtung verdient der Umstand, daß die Gammastrahlung von Radium B und C aus Komponenten sehr verschiedener Wellenlänge besteht, deren jeder ein anderer Absorptionskoeffizient zukommt. Auf diese Schwierigkeit

wurde bereits am Ende des § 1 hingewiesen. Heß, Lawson und auch Kovarik versuchten, ihr in der Weise aus dem Wege zu gehen, daß sie einen mittleren Absorptionskoeffizienten für die Gammastrahlung in die Rechnung einführten. Daß aber ein solcher mittlerer Absorptionskoeffizient schwer angebbar ist, erhellt daraus, daß die Absorption in 3,5 mm Blei beispielsweise sich von 98% auf 14% verringert, wenn man von einer Wellenlänge von 50 X-Einheiten zu einer solchen von 5 X-Einheiten übergeht. Die beiden genannten Wellenlängen stellen etwa die Grenzen des Gesamtspektrums von Radium B und C dar. Kennt man jedoch das Absorptionsgesetz und die spektrale Verteilung für die untersuchte Strahlung, so läßt sich aus der Anzahl der auftretenden Sekundärelektronen für jede Frequenz gesondert auf die Zahl der den Zähler durchsetzenden Quanten schließen.

Da, wie schon erwähnt, in Luft nur Comptonstreuung auftritt, so läßt sich die Absorption in ihrer Abhängigkeit von der Wellenlänge beschreiben durch die Formel von Klein und Nishina[1]). Diese Beziehung stimmt bei Elementen niederer Ordnungszahl mit dem Experiment sehr gut überein, wie Skobelzyn[2]) und Meitner und Hupfeld[3]) gezeigt haben. Bezüglich der spektralen Verteilung des Gammastrahlenspektrums stützt sich die vorliegende Arbeit auf die Messungen von Ellis und Aston[4]). Diese Autoren bestimmten die relativen Intensitäten[5]) der stärksten Linien dadurch, daß sie das magnetische Betastrahlenspektrum der von den Gammastrahlen in Platin ausgelösten Sekundärelektronen photographisch aufnahmen und die Schwärzung ausphotometrierten. Es waren noch Korrektionen anzubringen für die Aenderung des Photoabsorptionskoeffizienten in Platin mit der Wellenlänge und für die verschiedene Empfindlichkeit der photographischen Platte in Bezug auf Elektronen verschiedener Geschwindigkeit. Ellis und Aston bestimmten auf diese Weise die Wellenlänge und die relative Intensität von 3 Linien von Radium B und von 8 Linien von Radium C. Selbstverständlich ist das wirkliche Spektrum wesentlich komplizierter. Es darf jedoch wohl angenommen werden, daß man die Ab-

[1]) O. Klein und Y. Nishina, ZS. f. Phys. **52**, 853, 1929.

[2]) D. Skobelzyn, ZS. f. Phys. **58**, 595, 1929.

[3]) L. Meitner und H. Hupfeld, ZS. f. Phys. **67**, 147, 1931.

[4]) C. D. Ellis and G. H. Aston, Proc. Roy. Soc. **A 129**, 180, 1930.

[5]) Auf die Bestimmung der absoluten Intensitäten, die Ellis und Aston im Anschluß daran durchführten, wird bei der Diskussion des Resultates der vorliegenden Arbeit näher eingegangen.

sorption der Gammastrahlen genügend genau beschreibt, wenn man sich auf die erwähnten 11 Frequenzen beschränkt.

Es handelt sich also zunächst darum, die im Zählrohr von dem Wellenlängenkomplex der untersuchten Strahlung erzeugten Sekundärelektronen aufzuteilen auf die verschiedenen Frequenzen und zwar entsprechend der Fähigkeit jeder Frequenz, Sekundärelektronen zu erzeugen. Diese Fähigkeit ist proportional der Intensität, mit der die betreffende Frequenz auftritt, und dem Streukoeffizienten für diese Frequenz in Luft. Ueber die Durchführung der Berechnung gibt Tabelle 4 Auskunft.

Tabelle 4.

Durchführung der Berechnungen.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
XE	I_ν	μ_{Pb}	b	I'_ν	σ_{el} $\cdot 10^{25}$	$I'_\nu \cdot \sigma_{el}$ $\cdot 10^{25}$	n_ν $\cdot 10^{3}$	Γ_ν $\cdot 10^{-8}$
50,7	7,4	10,0	1,01	0,15	3,85	0,58	0,38	40,0
41,6	16,7	6,7	1,02	1,36	3,60	4,89	3,23	90,6
34,9	29,0	5,0	1,03	4,48	3,30	14,78	9,75	156,8
20,2	42,5	1,5	1,08	25,50	2,65	67,60	44,60	230,5
16,0	4,2	1,1	1,11	3,05	2,40	7,32	4,83	22,7
13,1	4,3	0,9	1,15	3,51	2,10	7,37	4,86	23,2
10,9	13,3	0,8	1,18	11,62	2,00	23,24	15,33	71,9
9,90	4,0	0,6	1,21	3,82	1,90	7,26	4,79	21,7
8,89	4,1	0,6	1,25	4,04	1,80	7,27	4,80	22,2
6,94	16,7	0,5	1,35	18,72	1,60	29,95	19,75	90,7
5,56	4,8	0,4	1,50	6,19	1,30	8,05	5,31	26,0
						178,31	117,63	796,3

In Spalte 1 der Tabelle sind die Frequenzen, für welche die Rechnung durchgeführt wurde, in X-Einheiten aufgetragen. Spalte 2 gibt die zugehörigen relativen Intensitäten I_ν (nach Ellis und Aston). Spalte 5 gibt dann die relativen Intensitäten der aus dem Panzer austretenden Strahlung an. Diese Intensitäten sind mit I'_ν bezeichnet. Sie gehen aus den Werten I_ν dadurch hervor, daß die Absorption in dem schon erwähnten Bleiabsorber von 3,4 mm Dicke und in der Messinghülse des

Präparats, insgesamt also in d = 3,8 mm Bleiäquivalent in Rechnung gestellt wird. Außerdem ist bei der Berechnung der Werte I'_ν bereits der Faktor b für die Blendenkorrektion berücksichtigt, auf den in § 6 hingewiesen wurde. Die Werte von b sind in Spalte 4 der vorliegenden Tabelle eingetragen. Es ist also $I'_\nu = I_\nu \cdot e^{-\mu d} \cdot b$. Die für die Berechnung der Absorption in Blei maßgebenden Absorptionskoeffizienten sind in Spalte 3 angegeben. Sie sind einer Arbeit von Jaeger[1]) entnommen, der die Absorptionskoeffizienten in Blei für harte Röntgenstrahlung bis 400 kV direkt gemessen hat. Die Jaeger'schen Werte gestatten jedoch eine ziemlich sichere Extrapolation in das kurzwelligere Gebiet, wo die durch Extrapolation erhaltenen Werte gut mit den von Kohlrausch[2]), Meitner und Hupfeld[3]) u. a. auf experimentellem Wege erhaltenen übereinstimmen. Spalte 6 enthält die nach der Formel von Klein und Nishina errechneten Streukoeffizienten pro Elektron σ_{el}. Für die Verteilung der Sekundärelektronen ist nach dem oben Gesagten der in Spalte 7 stehende Ausdruck $I'_\nu \cdot \sigma_{el}$ als Verteilungsschlüssel maßgebend, d. h. die pro Zeiteinheit ausgelösten Sekundärelektronen werden im Verhältnis der in Spalte 7 aufgeführten Zahlen auf die einzelnen Wellenlängen verteilt. Diese Aufteilung ist in Spalte 8 durchgeführt. Spalte 9 endlich enthält die hieraus errechneten, mit Γ_ν bezeichneten absoluten Intensitäten, nämlich die von 1 Gramm Radium in 1 Sekunde emittierte Quantenzahl der betreffenden Frequenz. Die Berechnung wird nach der folgenden, leicht zu bestätigenden Formel, in der bereits die Reduktion auf die Absorberdicke Null und der Blendenkorrektionsfaktor b enthalten ist, durchgeführt:

$$\Gamma_\nu = \frac{I_\nu}{I'_\nu} \cdot \frac{1}{m} \cdot \frac{4R^2}{r^2} \cdot \frac{2}{L\rho} \cdot \frac{n_\nu}{\sigma_{el}}$$

Es bedeutet dabei: m Stärke des Präparates in Gramm Radium, r Radius der Panzermündung, R Entfernung des Präparates von der Panzermündung, L Loschmidt'sche Zahl, ρ Dichte der Luft bei 0^0 C und 760 mm.

Als Summe der in Spalte 8 aufgeführten absoluten Intensitäten erhält man für die Gesamtzahl der Quanten, die 1 Gramm

---

[1]) R. Jaeger, ZS. f. Phys. **69**, 565, 1931.

[2]) K. W. F. Kohlrausch, Wiener Ber. **126**, 441, 683, 887, 1917.

[3]) L. Meitner und H. Hupfeld, a. a. O.

Radium im Gleichgewicht mit seinen Folgeprodukten in 1 Sekunde emittiert, den Wert $8{,}0 \cdot 10^{10}$.

Die experimentellen Fehler, soweit sich darüber sichere Angaben machen lassen, setzen sich im wesentlichen zusammen aus dem statistischen Fehler der Zählungen mit etwa 2% und der Unsicherheit in der Bestimmung des Raumwinkels, die etwa 5% betragen mag. Insgesamt dürften die experimentellen Fehler 7% nicht wesentlich überschreiten.

§ 12.

Diskussion des Resultates.

Zu dem im vorigen Paragraphen erhaltenen Resultat ist zunächst zu sagen, daß die gefundenen Intensitäten nur ein Ersatzschema für das komplizierte Spektrum der Radiumgammastrahlung darstellen können. Die Intensität, die einer der aufgeführten Frequenzen zugeschrieben wird, braucht in Wirklichkeit nicht nur gerade der angeführten Linie zuzugehören, sondern sie wird auch teilweise von andern schwächern Linien und einem etwaigen kontinuierlichen Spektrum in der Umgebung herrühren.

Das Ergebnis der vorliegenden Arbeit kann direkt verglichen werden mit den von Ellis und Aston erhaltenen Werten für die absolute Intensität der Gammalinien von Radium B und C. Die Bestimmung der absoluten Intensität erfolgte dort in der Weise, daß die Gesamtenergie des Gammastrahlspektrums, die nach bisher unveröffentlichten Messungen von L. H. Gray zu 9,2 cal pro Stunde angenommen wird, auf die einzelnen Frequenzen verteilt wird. Die Aufteilung geschieht entsprechend der Zahl und Größe der den einzelnen Linien zukommenden Energiequanten ($h\nu$). Die so erhaltenen Werte sind um etwa 6% größer als die in der vorliegenden Arbeit gefundenen.

Die Kenntnis der Zahl der von 1 Gramm Radium in 1 Sekunde emittierten Gammastrahlquanten gestattet, die mittlere Energie eines Gammastrahlquantes zu berechnen, da, wie schon erwähnt, die Gesamtenergie des Gammastrahlspektrums bekannt ist. Nimmt man den Grayschen Wert von 9,2 cal pro Stunde als richtig an, so erhält man die mittlere Energie eines Quantes der Gammastrahlung von Radium B und C zu $\overline{h\nu} = 840$ Kilovoltelektron, entsprechend einer mittleren Wellenlänge von 14,7

X-Einheiten. Skobelzyn[1]) findet aus Wilsonaufnahmen $\overline{h\nu}$ = 854 Kilovoltelektron. Der aus der Gesamtzahl und der Gesamtenergie der Gammastrahlung errechnete Wert stimmt also mit dem experimentell direkt bestimmten sehr gut überein.

Zum Schluß soll noch auf die Zahl der pro Atomzerfall entstehenden Quanten kurz eingegangen werden: Von 1 Gramm Radium zerfallen, wie man aus den Alphastrahlzählungen weiß, in einer Sekunde $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Atome. Ebenso groß ist also auch die Zahl der Atome, die in der Zeiteinheit von jedem der damit im Gleichgewicht stehenden Folgeelemente zerfallen. Von Radium B und C zerfallen daher $7{,}4 \cdot 10^{10}$ Atome pro Sekunde, während nach den vorstehenden Versuchen $7{,}8 \cdot 10^{10}$ Gammastrahlquanten entstehen. Wir erhalten daher eine Emission von rund 1,1 Quanten pro zerfallendes Atom. Die Abweichung von 1 erscheint zu groß, als daß die an sich naheliegende Annahme, daß für 1 zerfallendes Atom gerade 1 Quant entsteht, damit in Einklang zu bringen wäre. Dazu kommt noch, daß die oben angegebene Zahl die Zahl der Quanten verkörpert, die pro Atomzerfall emittiert werden, nicht die der entstehenden Quanten, für die doch ein solcher inneratomarer Zusammenhang in erster Linie zu verstehen wäre. Die Zahl der entstehenden Quanten ist höher als die der emittierten, weil ein Teil der Gammastrahlen schon im eigenen Atom absorbiert und ihre Energie in Betastrahlenenergie umgewandelt wird. Aus den Ergebnissen von Ellis und Aston[2]) läßt sich schließen, daß im Durchschnitt von 11 entstehenden Quanten nur etwa 10 das Atom verlassen können.

§ 13.

Zusammenfassung.

Es wird die Zahl der Gammastrahlquanten, die die mit 1 Gramm Radium im Gleichgewicht stehende Menge Radium B und C emittiert, in der Weise bestimmt, daß die von dieser Strahlung in Luft ausgelösten Sekundärelektronen gezählt werden. Die Auszählung erfolgt mit Hilfe eines Elektronenzählrohrs nach Geiger und Müller, das mit Luft von Atmosphärendruck gefüllt ist und in Richtung seiner Achse von dem Gamma-

[1]) D. Skobelzyn, a. a. O.
[2]) C. D. Ellis und G. H. Aston, a. a. O.

strahl durchsetzt wird. Als Resultat einer großen Anzahl unter verschiedenen Bedingungen vorgenommener Zählungen ergaben sich $8{,}0 \cdot 10^{10}$ Gammastrahlquanten pro Sekunde und Gramm Radium.

Die vorliegende Arbeit wurde im Physikalischen Institut der Universität Tübingen durchgeführt.

Es ist mir ein Bedürfnis, an dieser Stelle Herrn Professor Dr. Geiger für die Anregung zu dieser Arbeit und seine dauernde, fördernde Anteilnahme, Herrn Privatdozent Dr. Gerthsen für stetes Interesse und mannigfache Hilfe zu danken.

Lebenslauf.

Als Sohn des Volksschullehrers Matthäus Reiff wurde ich, Gerhard Gottfried Reiff, am 5. Oktober 1908 in Reutlingen geboren. Nach Besuch der Elementarschule trat ich im Herbst 1916 in das Realgymnasium zu Reutlingen ein und bestand dort Ostern 1926 die Reifeprüfung. Anschließend widmete ich mit dann dem Studium der Physik und der Mathematik an der Universität Tübingen.